



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.935

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.117

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЙ В МЕЖЗУБОВЫХ ВПАДИНАХ
ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ ПРИ ЕЕ НАТЯЖЕНИИ**

Г.Ф. Прокофьев, д-р техн. наук, проф.

О.Л. Коваленко, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: g.prokofjev@narfu.ru, o.kovalenko@narfu.ru

Выход из строя пил из-за усталостных явлений – наиболее частая причина простоев ленточнопильных станков. Образование трещин в межзубовых впадинах пил при работе не только снижает производительность ленточнопильных станков, но и увеличивает затраты на приобретение и подготовку пил, создает опасность для обслуживающих станок работников. Большое влияние на усталостную прочность ленточных пил оказывают параметры межзубовых впадин, которые являются концентраторами напряжений. Для оценки прочности ленточных пил необходимо знать коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил от их изгиба на шкивах и натяжения. Знание этих коэффициентов позволяет определить эквивалентный коэффициент концентрации напряжений и рассчитать коэффициент запаса прочности пил. Ранее авторами были определены теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе ленточной пилы и коэффициент чувствительности материала пилы. В данной работе дано описание опытов по определению теоретического коэффициента концентрации напряжений при натяжении пилы. Образец ленточной пилы закрепляли в захватах универсальной испытательной машины TIME WDW 200E. Путем вертикального перемещения верхнего захвата производили натяжение образца пилы. На середине свободной длины образца были зафиксированы 5 тензорезисторов: один в непосредственной близости от межзубовой впадины, остальные на равных расстояниях по ширине образца пилы. Напряжения характеризовались величиной электрического напряжения в милливольттах, определяемого по вольтметру. Получен теоретический коэффициент концентрации напряжений при натяжении пилы, равный 1,62. При коэффициенте чувствительности материала (сталь 9ХФ) пилы, равном 0,85, определенного авторами ранее, действительный коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах при натяжении пилы составил 1,53.

Ключевые слова: ленточная пила, усталостные трещины, коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах, коэффициент чувствительности материала ленточных пил, коэффициент запаса прочности ленточных пил.

Для повышения производительности ленточнопильных станков необходимо повышать коэффициент использования рабочего времени K_p , равный отношению машинного времени (времени работы) ленточнопильного станка в течение смены к полному времени смены. Выход из строя ленточных пил – наиболее частая причина простоев станка. Многочисленными наблюдениями [1, 2, 4, 5, 7–9] установлено, что разрушение ленточных пил носит усталостный характер. Это не только снижает производительность станка, но и увеличивает трудозатраты на приобретение и подготовку пил, создает опасность для обслуживающего станок персонала.

В работах [1, 7, 8] дан анализ напряжений от изгиба пил на шкивах, от натяжения, центробежных сил инерции, сил резания, вальцевания, наклона шкивов, температурного перепада по ширине пилы, концентраторов напряжений. При этом основными напряжениями в пиле являются напряжения изгиба и растяжения, которые составляют более 80 % от всех суммарных напряжений в пиле при работе [5].

Большое влияние на усталостную прочность ленточных пил оказывают параметры межзубовых впадин, которые являются концентраторами напряжений. Определение коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе и натяжении рассматривалось в [2, 6, 9]. Однако эти исследования выполнены на образцах, параметры которых отличаются от параметров стандартных делительных ленточных пил.

Долговечность ленточной пилы считается обеспеченной, если коэффициент запаса прочности n не меньше требуемого $[n]$, т. е. если $n > [n]$. Требуемый коэффициент запаса прочности $[n] = 2$ [5]. В этой работе приводится следующая формула для определения коэффициента запаса прочности ленточной пилы:

$$n = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_b} \left[\frac{k_3 \sigma_b}{\beta \sigma_{-1N}} \left(\frac{\sigma_n}{2} + \Delta \sigma_n \right) + \left(\frac{\sigma_n}{2} + \sigma_n \right) \right]}, \quad (1)$$

где σ_b – предел прочности материала пилы, МПа;

k_3 – эквивалентный коэффициент концентрации напряжений [1],

$$k_3 = \frac{k_n \sigma_n + k_i \sigma_n}{\sigma_n + \sigma_n}; \quad (2)$$

k_n, k_i – коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе и натяжении пилы;

σ_n, σ_n – напряжения от изгиба и натяжения пилы на шкивах, МПа;

β – коэффициент, учитывающий влияние качества обработки поверхности межзубовых впадин;

σ_{-1N} – предел ограниченной выносливости, МПа;

$\Delta \sigma_n$ – изменение натяжения пилы, вызванное радиальным биением шкивов, МПа.

Как видно из формулы (2), k_3 зависит от коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе $k_{и}$ и натяжении пилы $k_{нт}$, а также от напряжений $\sigma_{и}$ и $\sigma_{нт}$.

Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе рассмотрено в [6]. При определении коэффициентов $k_{и}$ и $k_{нт}$ была выбрана ленточная пила толщиной $S = 1,2$ мм, шириной $B = 125$ мм (высота зубьев 10 мм, шаг зубьев $t = 30$ мм, радиус закругления межзубовой впадины $R = 5$ мм). По ГОСТ 6532–77 пила с такими параметрами обозначается 3405-0032. Качество подготовки зубьев пил соответствовало технологическим режимам РИ 04-00 [3]. Выбор пилы объясняется тем, что она применяется в делительных ленточнопильных станках для распиловки толстых пиломатериалов на тонкие, для продольной распиловки горбылей, а также в ленточнопильных станках с криволинейными аэростатическими направляющими [5], работы по использованию которых ведутся в САФУ. Нами [6] определены теоретический (нижний индекс «т») и действительный коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при изгибе (нижний индекс «и»). Это позволило рассчитать коэффициент чувствительности материала ленточной пилы:

$$q = \frac{k_{и} - 1}{k_{нт} - 1} = \frac{1,23 - 1}{1,27 - 1} = 0,85.$$

Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах при натяжении ленточной пилы выполнено на экспериментальной установке, основу которой составляла универсальная электромеханическая испытательная машина с компьютерным управлением TIME WDW 200E. Общий вид установки приведен на рис. 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка для определения коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при ее растяжении

Образец ленточной пилы длиной 330 мм закрепляли в захватах установки. Путем вертикального перемещения верхнего захвата производили натяжение образца пилы. На середине свободной длины образца (на середине расстояния между захватами) с помощью бакелито-фенольного клея БФ-2 приклеивали 5 проволочных тензорезисторов марки ПКБ-20-200.

Один из них размещали в непосредственной близости от межзубовой впадины, остальные были закреплены на равных расстояниях по ширине пилы (рис. 2).

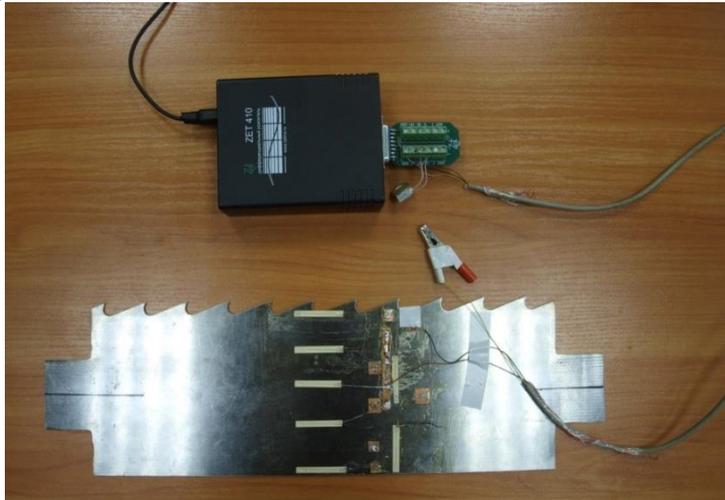


Рис. 2. Образец ленточной пилы с наклеенными тензорезисторами

Электрическая схема для определения изменения напряжений по ширине полотна образца пилы приведена на рис. 3.

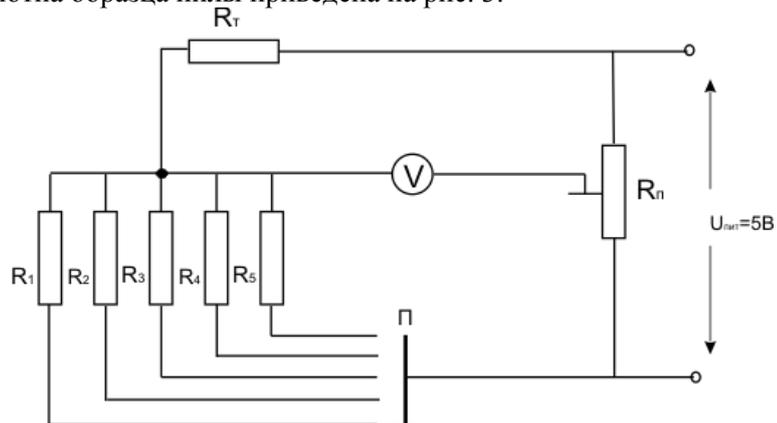


Рис. 3. Электрическая измерительная схема для определения напряжений в образце ленточной пилы при его натяжении: R_T – температурный тензорезистор; R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 – тензорезисторы; R_{Π} – подстроечный тензорезистор; Π – переключатель тензорезисторов

Натяжение пилы задавали от 5,0 до 15,0 кН через 2,5 кН, что для данного образца пилы соответствовало изменению напряжений от 36 до 109 МПа через 18 МПа. Величина напряжений характеризовалась величиной электрического напряжения в милливольтгах, определяемой по вольтметру. Было проведено 5 опытов, в каждом опыте было выполнено по 10 наблюдений. Результаты опытов обрабатывали методом математической статистики. В каждом опыте определяли отношение средних значений показаний тензорезистора, приклеенного в непосредственной близости от межзубовой впадины, к среднему значению показаний остальных тензорезисторов. При силе натяжения 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0 кН получены следующие значения теоретических (нижний индекс «т») коэффициентов концентрации напряжений в межзубовой впадине при натяжении (нижний индекс «н») образца ленточной пилы: соответственно 1,64; 1,60; 1,61; 1,62; 1,61. С достаточной точностью можно принять $k_{нт} = 1,62$.

Действительный коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при натяжении (коэффициент чувствительности материала пилы $q = 0,85$ [6]) может быть определен из выражения:

$$k_n = 1 + q(k_{нт} - 1) = 1,53.$$

Выводы

1. Определены теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы (ГОСТ 6532–77) при ее натяжении: $k_{нт} = 1,62$; $k_n = 1,53$.

2. Полученные коэффициенты концентрации напряжений могут быть использованы при определении эквивалентного коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил по формуле (2) и коэффициента запаса прочности по формуле (3).

3. Рассмотренные методики могут быть использованы и для пил с другими геометрическими параметрами при определении коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрынин Е.Д. Исследование причин аварийного расхода ленточных пил// Механическая технология древесины: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. СПб: ЛТА, 1976. С. 45–46.
2. Малышев Ю.В. Влияние некоторых факторов на долговечность полотен ленточных делительных пил. Л.: ЛТА, 1974. 10 с.
3. Настенко А.А., Веселков В.И. Технологические режимы РИ 04–00. Подготовка делительных ленточных пил. Архангельск: ЦНИИМОД, 1976. 66 с.
4. Прокофьев Г.Ф. Определение требуемой прочности пил многопильных ленточнопильных станков// Лесн. журн. 1989. №6. С. 81–85. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 240 с.

6. Прокофьев Г.Ф., Коваленко О.Л. Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе// Лесн. журн. 2015. № 4. С. 50–56. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Феоктистов А.Е. Причины появления трещин в полотнах ленточных пил // Деревообраб. пром-сть. 1960. №5. С. 12–14.

8. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки. М.: Лесн. пром-сть. 1976. 152 с.

9. Швамм Л.Г. Исследование и разработка методов повышения долговечности ленточных пил для распиловки древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛТА, 1982. 20 с.

Поступила 18.09.15

UDC 621.935

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.117

Determination of the Stress Concentration Factor in the Tooth Space of a Band Saw under Tension

G.F. Prokof'ev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

O.L. Kovalenko, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: g.prokofjev@narfu.ru, o.kovalenko@narfu.ru

The failure of the saws due to the fatigue effect is the most common cause of the ineffective time of the band saws. The formation of cracks in the tooth space not only reduces the band saws performance, but also increases the cost of the acquisition and preparation of the saws and creates a danger for the workers. The tooth space parameters, which are the stress concentrators, have a great influence on the fatigue strength of the band saws. To assess the strength of a band saw we should know the stress concentration factor in the tooth space of a band saw on its bend on the wheels and tension. Knowledge of these factors let us to determine the equivalent stress concentration factor and to calculate the safety factor of a band saw. Previously, the authors identified the theoretical and actual stress concentration factors in the tooth space of a band saw under bending and the sensitivity coefficient of materials of a band saw. The paper presents the experiments to determine the theoretical stress concentration factor of a saw under tension. A band saw sample was fixed up in the universal testing machine head TIME WDW 200E. The tension of a band saw sample was performed by the vertical displacement of the upper head. 5 resistive strain gages were fixed in the middle of the free length of the sample: one was near the tooth space; others were distributed at the equal distances along the blade width of the sample. The stresses were characterized by a voltage value in millivolts measured by the voltmeter. The theoretical stress concentration factor of a band saw under tension equal to 1.62 is obtained. The actual stress concentration factor in the tooth space of a band saw under tension is 1.53 at the sensitivity coefficient of materials (steel 9ХФ – alloy structure steel) of a band saw, equal to 0.85.

Keywords: band saw, fatigue crack, stress concentration factor in the tooth space, sensitivity coefficient of materials of a band saw, safety factor of a band saw.

REFERENCES

1. Dobrynin E.D. Issledovanie prichin avariynogo raskhoda lentochnykh pil [Research into the Causes of the Average Disbursement of the Band Saws]. *Mekhanicheskaya tekhnologiya drevesiny* [Mechanical Wood Technology]. Saint Petersburg, 1976, pp. 45–46.
2. Malyshev Yu.V. Vliyaniye nekotorykh faktorov na dolgovechnost' poloten lentochnykh delitel'nykh pil [Influence of Some Factors on the Durability of the Band Resaw Blades]. Saint Petersburg, 1974. 10 p.
3. Nastenko A.A., Veselkov V.I. *Tekhnologicheskie rezhimy RI 04–00. Podgotovka delitel'nykh lentochnykh pil* [Technological Modes of RI 04–00. Preparation of the Band Resaws]. Arkhangelsk, 1976. 66 p.
4. Prokof'ev G.F. Opredeleniye trebuemoy prochnosti pil mnogopil'nykh lentochnopil'nykh stankov [Determination of the Required Strength of the Multiblade Band Resaws]. *Lesnoy zhurnal*, 1989, no. 6, pp. 81–85.
5. Prokof'ev G.F. *Intensifikatsiya pileniya drevesiny ramnymi i lentochnymi pilami* [Intensification of Wood Sawing by Frame Saws and Band Saws]. Moscow, 1990. 240 p.
6. Prokof'ev G.F., Kovalenko O.L. Opredeleniye koeffitsienta kontsentratsii napryazheniy v mezhzubovykh vpadinakh lentochnykh pil pri izgibe [Determination of the Stress Concentration Factor in the Tooth Space of the Band Saws under Bending]. *Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 4, pp. 50–56.
7. Feoktistov A.E. Prichiny poyavleniya treshchin v polotnakh lentochnykh pil [Causes of Cracks in the Band Saw Blades]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1960, no. 5, pp. 12–14.
8. Feoktistov A.E. *Lentochnopil'nye stanki* [Band Saws]. Moscow, 1976. 152 p.
9. Shvamm L.G. *Issledovanie i razrabotka metodov povysheniya dolgovechnosti lentochnykh pil dlya raspilovki drevesiny: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Research and Development of the Improving Practices of Band Saw Durability for Re-sawing: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Leningrad, 1982. 20 p.

Received on September 18, 2015